



①⑨ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

①⑫ Patentschrift  
①⑩ DE 43 30 467 C 1

⑥① Int. Cl.<sup>5</sup>:  
H 05 K 3/34

②① Aktenzeichen: P 43 30 467.2-34  
②② Anmeldetag: 8. 9. 93  
④③ Offenlegungstag: —  
④⑤ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 8. 9. 94

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦③ Patentinhaber:

Siemens Nixdorf Informationssysteme AG, 33102  
Paderborn, DE

⑦④ Vertreter:

Fuchs, F., Dr.-Ing., Pat.-Anw., 81541 München

⑦② Erfinder:

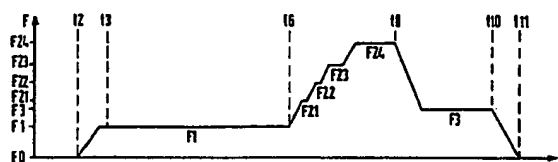
Dederer, Günter, Dipl.-Ing. (FH), 81739 München, DE

⑥⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht gezogene Druckschriften:

EP 04 20 050 A2  
Elektronik, Bd. 35, Nr. 25, 12.12.86, S. 57-64;  
ZSCHIMMER, Gero: »Impulslöten - die Alternative  
für SMD's;

⑤④ Verfahren zum Löten von oberflächenmontierbaren elektronischen Bauelementen auf Leiterplatten

⑤⑦ In Lötvorrichtungen, in denen mittels einer oder mehrerer Bügelelektroden (1) und einer elektrischen Widerstandserwärmung eine oder mehrere Reihen von Anschlußbeinchen (3) eines elektronischen Bauelementes auf eine Leiterplatte (2) gelötet werden, wird eine Kraft über die Bügelelektrode (1) auf die Anschlußbeinchen (3) ausgeübt. Dabei sind verschiedenartige Verfahrensweisen bezüglich des zeitlichen Verlaufes von Temperatur und Kraft bekannt. Um das Abgleiten eines Anschlußbeinchens (3) von einem Lotdepot (4) bzw. von einem Anschlußfleckchen (5) und eine übermäßige Belastung einzelner Anschlußfleckchen zu verhindern, wird bei Erreichen der Schmelztemperatur (T2) die Kraft auf die Anschlußbeinchen (3) von einer anfänglich geringen Kraft (F1) stufenweise auf die maximale Kraft (F24) erhöht. Nach einer gewissen Haltezeit einer Temperatur (T3) und der maximalen Kraft (F24) wird die Kraft auf eine Restkraft (F3) zurückgefahren, bis das Lotmaterial vollständig erstarrt ist.



DE 43 30 467 C 1

DE 43 30 467 C 1

Best Available Copy

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Auflöten von oberflächenmontierbaren elektronischen Bauelementen auf Leiterplatten mit vorbeloteten Anschlußflecken, wobei in der Regel das Lot umgeschmolzen ist. Dies geschieht mittels einer Lötvorrichtung mit mindestens einer Bügelelektrode (auch Thermoden genannt), die durch elektrische Widerstandswärme erheizbar ist und mittels der eine Kraft auf die Anschlußbeinchen des Bauelementes während der Lötphase ausgeübt wird.

Lötvorrichtungen mit sogenannten Thermoden zum Reflowlöten (Bügel-Löten) sind verschiedentlich bekannt. Dabei gibt es entsprechend der Form der elektronischen Bauelemente Vorrichtungen mit zwei parallel einander gegenüberliegenden oder mit hier paarweise einander gegenüberliegenden Bügelelektroden. Diese Vorrichtungen dienen dazu, Bauelemente mit einer Vielzahl von Anschlußbeinchen auf eine Leiterplatte bzw. auf die dazu vorgesehenen Anschlußflecken des auf der Leiterplatte befindlichen Leiterbildes aufzulöten. Bei der automatischen Bestückung ist in der Regel eine zentral angeordnete Saugpipette vorhanden und die Lötbügel sind so angeordnet, daß sie auf jeweils eine Reihe von Anschlußbeinchen plazierte werden können.

Die durch elektrische Widerstandserwärmung beheizte Bügelelektrode ist das zentrale Bauteil der Lötvorrichtung. Durch sie wird die nötige Energie für die Lötung eingebracht. Darüberhinaus ist es bekannt, eine Kraft auf die Bügelelektrode und folglich auch auf die Anschlußbeinchen des Bauelementes auszuüben, so daß diese an oder in das auf den Anschlußflecken befindliche Lot gedrückt werden.

Aus dem Artikel "Impulslöten — die Alternative für SMDs" von G. Zschimmer in der Zeitschrift Elektronik, Bd. 35, Nr. 25, 12.12.1986, München, Seiten 57 bis 64 ist ein entsprechendes Verfahren bekannt. Das hier als Impulslöten bezeichnete Verfahren geschieht mit einem Lötadapter, der einer Bügelelektrode entspricht. Eine definierte Kraft wirkt von Anfang an, so daß die Lötpartner bereits im kalten Zustand aneinandergepreßt werden. Eine Entlastung von der anliegenden Kraft geschieht erst wieder wenn das Lot erstarrt ist. Durch die Anpreßkraft wird ausgeschlossen, daß ein Spalt zwischen Anschlüssen und Substrat mit Lot gefüllt wird. Da hierfür eine Standardplattierung ausreicht, wird keinerlei Lot oder Lötpaste zugeführt.

Die europäische Patentanmeldung EP-A-0 420 050 offenbart ein entsprechendes Lötverfahren bei dem nach dem Aufschmelzen des Lotes und dem Nachdrücken der Anschlußbeinchen in das flüssige Lot eine definierte Verringerung der auf die Bügelelektrode bzw. auf die Anschlußbeinchen ausgeübten Kraft zur Ausbildung einer definierten Lotschicht zwischen den Anschlußbeinchen und den zugehörigen Anschlußflecken vorgenommen wird.

Beim Löten von hochpoligen SMD-Bauteilen (oberflächenmontierbare Bauteile) werden die durch Biegen geformten, vorwiegend vorbeloteten Anschlußbeinchen mit gleichmäßiger Kraft auf die beloteten und umgeschmolzenen Anschlußflecken der Leiterplattenoberfläche niedergedrückt und mittels Stromimpuls-Wärme nach dem Prinzip des Wiederaufschmelzverfahrens (Reflowlöten) durch Löten aller Anschlußbeinchen in einem Arbeitsgang mit den Anschlußflecken verbunden. Ein wesentlicher Nachteil dabei besteht darin, daß durch die gewählte hohe Auflagekraft des Lötwerkzeuges (Thermoden) und der unterschiedlichen Höhe der Lotdepots

auf der Vielzahl von Anschlußflecken es zur Dejustierung/Deplazierung einzelner Anschlußbeinchen oder zur Deformation oder Delamination an Anschlußflecken kommen kann. Durch die teils balligen Oberflächen der Lotdepots werden Querkkräfte erzeugt, wodurch ein Abgleiten einzelner Anschlußbeinchen vom entsprechenden Anschlußflecken vor bzw. während des Lötvorganges vorkommen kann. Dieses Verschieben der Anschlußbeinchen führt dann oft zu Kurzschlüssen mit den benachbarten Anschlüssen. Die Reparatur ist sehr aufwendig oder gar nicht durchzuführen. Weitere nachteilige Auswirkungen kann die Welligkeit der Leiterplatte mit sich bringen. Ist die Leiterplatte spürbar gewellt, so kann das Lötwerkzeug nicht gleichzeitig mit allen Anschlußbeinchen in Berührung kommen. Erst nach dem Aufschmelzen des Lotes an den höheren Anschlußflecken werden die tieferliegenden Anschlüsse durch das Lötwerkzeug erwärmt und mit dem entsprechenden Anschlußflecken verbunden. Dieses zeitlich unterschiedliche Ankoppeln der Anschlußbeinchen erhöht zu Beginn des Lötverfahrens nach dem Aufbau der maximalen Kraft die spezifische Flächenpressung der am höchsten liegenden Anschlußbeinchen unter voller Krafteinwirkung durch das Thermoden-Werkzeug.

Als Lösungsvorschlag gegen ein Abkippen bzw. Wegrutschen eines Anschlußbeinchens ist bereits der Einsatz eines entsprechend drehbar gelagerten Lötbügels bekannt. Ein derartiger Lötbügel kann die eigentlich parallel zur Reihe der Anschlußflecken bzw. Anschlußbeinchen liegende Lötkaute (seine untere Kante) in geringen Grenzen aus dieser Parallelität heraus positionieren. Hier liegt die maximale Kraft anfangs meist nur auf zwei Anschlußbeinchen. Ein oben beschriebenes Abgleiten kann nicht ausgeschlossen werden.

Ein wesentlicher Nachteil im Stand der Technik ist jedoch die konstant bleibende Krafteinstellung während des gesamten Lötvorganges. Das Aufsetzen auf die Anschlußbeinchen mit einem bereits heißen Lötwerkzeug konnte die Fehlerquelle, die zum Abrutschen der Beinchen führt, nicht ausschalten.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde ein Lötverfahren für oberflächenmontierbare Bauelemente zu schaffen, das mittels einer widerstandsbeheizten Bügelelektrode während des Lötvorganges eine Kraft auf die Anschlußbeinchen von elektronischen Bauelementen ausübt, wobei keinerlei Deplazierung von Anschlußbeinchen durch Abgleiten auf der Lotschicht eines Anschlußflecken und keine übermäßige Belastung einzelner Anschlußflecken vorkommt.

Die Lösung dieser Aufgabe geschieht durch den Gegenstand des Anspruches 1.

Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, daß die stufenweise oder kontinuierliche Erhöhung der Kraft, die der Lötbügel während des Lötvorganges beim Aufschmelzen des Lotes auf die Anschlußbeinchen ausübt, eine dosierte, der Anzahl der niedergedrückten Anschlußbeinchen bezogene gleichbleibende Anpreßkraft erzeugt. Dabei wird vorausgesetzt, daß eine exakte Positionierung der Anschlußbeinchen über den jeweiligen Anschlußflecken vorliegt und der Lötbügel starr ist und sich lediglich senkrecht zur Reihe der Anschlußbeinchen nach oben und unten bewegen läßt. Die Lötkaute ist ebenfalls parallel zu der Leiste der Anschlußbeinchen. Der Erhöhung der Kraft während des Aufschmelzvorganges geht das Anlegen einer geringen Kraft voraus, um den Lötbügel mit seiner Lötkaute geringfügig an die Anschlußbeinchen anzudrücken, die auf dem zu dieser Zeit noch harten Lot auf den Anschluß-

flecken aufsitzten. In der Realität wird durch unterschiedliche Lötöhe bzw. Welligkeit der Leiterplatte nur eine geringe Anzahl von Anschlußbeinchen Kontakt zum Lot haben, so daß diese Anschlußbeinchen diese geringe anfängliche Kraft vollständig aufnehmen. Nachfolgend wird die Größe der aufgetragenen Kraft dem Abschmelzvorgang derart angepaßt, daß die auf ein Anschlußbeinchen bezogene Kraft annähernd konstant bleibt. Der anfänglich auf einer geringen Anzahl von Anschlußbeinchen beispielsweise ein bis zwei Stück aufsitzen- 5 der Lötbugel sorgt durch den entsprechenden körperlichen Kontakt für das Aufschmelzen des Lotes dieser wenigen Anschlußbeinchen. Im Anschluß daran wird sich die Zahl der Anschlußbeinchen erhöhen, auf denen der Lötbugel aufliegt, dann wiederum die entsprechende Energie zum Aufschmelzen des jeweiligen Lotdepots durch Wärmeleitung geliefert und nach und nach die Vielzahl von Anschlußbeinchen in das entsprechende aufgeschmolzene Lotdepot hineingedrückt. Somit ist gewährleistet, daß zu keiner Zeit eine überhöhte 10 Kraft auf eine geringe Anzahl von Anschlußbeinchen ausgeübt wird, während das zugehörige Lotdepot noch nicht aufgeschmolzen ist. Folglich wird ein Abgleiten von Anschlußbeinchen und eine Beschädigung, beispielsweise durch Delaminierung, durch einzelne überbelastete Anschlußstellen verhindert.

Im Anschluß an die Temperaturhaltephase auf dem Niveau der Schmelztemperatur bzw. auf einem Niveau einer überhöhten Temperatur wird die maximal eingestellte Kraft auf eine Restkraft verringert, bis die Temperatur am Lötort ausreichende Festigkeit der Lötungen gewährleistet. Durch diese Maßnahme, bei der die maximal eingestellte Kraft nicht bis zum Schluß des Lötvorganges gehalten wird, können Spannungen im erstarrten Lot abgebaut werden.

Eine vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung sieht die Regelung von Temperatur und Kraft vor, so daß bei Vorgabe einer Sollkurve im Temperatur/Zeit- oder Kraft/Zeit-Diagramm jeweils linienförmige Kurvenverläufe möglich sind. Dies dient nicht nur der exakten Kontrolle der Parameter, sondern ermöglicht auch eine zügige Verfahrensführung, wobei beispielsweise beim Abkühlen von Lötstellen durch Anblasen mittels eines Inertgases, beispielsweise Stickstoff, nicht nur der Effekt der Antioxidation ausgenutzt wird, sondern auch eine gezielte Abkühlung möglich ist.

Im folgenden wird anhand von schematischen Figuren ein Ausführungsbeispiel beschrieben.

Die Fig. 1 zeigt den prinzipiellen Aufbau einer Anordnung innerhalb einer Lötvorrichtung.

Die Fig. 2 zeigt das Phänomen des Abgleitens eines Anschlußbeinchens, wenn ein Lötbugel mit überhöhter Kraft aufsetzt.

Fig. 3 und Fig. 4 zeigen den zeitlichen Verlauf von Temperatur und Kraft bei einem entsprechenden Löt- 55 vorgang.

Der prinzipielle Aufbau von Bügellötmaschinen ist bekannt und wird hier nicht näher beschrieben. Zwischen dem maschinellen Aufbau und dem Führungssystem des Thermoden-Halters ist zur Kraftregelung ein Kraftmeßsystem mit Kraftsensor eingesetzt. Der Thermoden-Halter ist auf ein Führungssystem aufgesetzt. Der Thermoden-Halter trägt die Thermode. Die Thermode ist beispielsweise als Lötbugel ausgeführt, kann eine Keramikbeschichtung aufweisen und beinhaltet zur Temperaturregelung ein Thermoelement. Der Lötbugel kann auch im wesentlichen aus Metall bestehen, wobei eine Keramikplatte eingesetzt ist oder es wird ein voll-

keramisches Element mit Heizwiderstand verwendet. Ein Thermoelement bzw. Temperatursensor ist jeweils vorhanden.

Die Fig. 1 zeigt eine Bügelelektrode 1 mit entsprechenden Befestigungslöchern und inneren Aussparungen. An ihrer Unterseite befindet sich die Löt- 5 kante 6. Die Bügelelektrode 1 kann in Richtung des Pfeiles auf eine Reihe von Anschlußbeinchen 3 hinbewegt werden, wobei eine Kraft auf diese ausgeübt werden kann. Bei der Bewegung in Gegenrichtung wird entsprechend entlastet. Die auf der Leiterplatte 2 befindlichen Anschlußstellen 5 sind wie hier angedeutet mit unterschiedlich hohen Lotdepots 4 versehen, auf die das mittlere dargestellte Anschlußbeinchen 3 auf das Lotdepot 4 aufgesetzt hat. Das zugehörige elektronische Bauelement ist nicht dargestellt. Würde eine von Anfang an eingestellte hohe Kraft über die Bügelelektrode 1 auf die Anschlußbeinchen 3 wirken, so würde zu Anfang, wenn das Lot 4 noch nicht aufgeschmolzen ist, die gesamte Kraft auf dem mittleren Anschlußbeinchen 3 la- 10 sten, was zu einem Abgleiten oder zu einer Delaminierung des Anschlußflecks bezüglich der Leiterplatte führen kann. Weitere Ursachen des Abgleitens sind beispielsweise nicht exakt ausgerichtete oder verdrehte Anschlußbeinchen 3.

In Fig. 2 ist das besagte Abgleiten am Beispiel des mittleren dargestellten Anschlußbeinchens 3 skizziert worden. Die angedrückte Bügelelektrode 1 ist in diesem Fall so plziert, daß die Löt- 15 kante 6 an den Anschlußbeinchen 3 anliegt und diese andrückt.

Erfindungsgemäß ist die Bügelelektrode 1 starr und kann lediglich mit einer zur Leiterplatte parallelen Löt- 20 kante 6, 61 zum Andrücken in Richtung auf die Leiterplatte 2 bewegt werden oder zum Entlasten in Gegenrichtung zurückgezogen werden.

In den Fig. 3 und 4 sind bei jeweils korrespondierender Zeitachse der geregelte Verlauf der Temperatur und der Kraft skizziert. Die Temperatur entspricht idealerweise der am Ort der Lötung und wird über Temperatursensoren, wie beispielsweise Thermoelemente, möglichst nahe an dem Ort der Lötung gemessen. Die Kraft wird über eine der Bügelelektrode 1 vorgeschaltete Kraftmeßzelle ermittelt und wirkt über die Bügelelektrode 1 in Richtung auf die Reihe der Anschlußbein- 25 chen 3.

Der Verfahrensablauf sieht vor, das Temperatursystem bei einer geringen Temperaturerhöhung bei der Zeit  $t_2$  vollautomatisch zu testen und dann die Bügelelektrode 1 auf die Anschlußbeinchen 3 des elektronischen Bauteils abzusenken und eine geringe Kraft F1 aufzubauen. Nach einer kurzen Verweilzeit entsprechend dem Abschnitt A4, der bis zur Zeit  $t_4$  reicht, wird das Kraft- und Temperatur-System vollautomatisch getestet. Bei der Zeit  $t_2$  wird ein Startsignal gegeben, woraufhin auf die geringe Kraft F1 hochgefahren wird, die bei ca. 10 bis 20% der maximalen Kraft F24 liegt. Dies entspricht je nach fine-pitch-Abmessung ungefähr einem Wert von 0,5 bis 1 N pro Beinchen. Bis zur Zeit  $t_3$  wird das Kraftsystem getestet. Im Anschluß an den Abschnitt A4 wird die Temperatur auf T1 erhöht. Dies dient der Aktivierung des Flußmittels. Der folgende Abschnitt A7 beinhaltet die Temperaturerhöhung auf T2 (Schmelztemperatur). In diesem Bereich wird das Lotmaterial 4 verflüssigt. Eine folgende Temperaturerhöhung von T2 auf T3 im Abschnitt A9 stellt den eigentlichen Lötvorgang dar. Der Abschnitt A10 entspricht der Erstarrungsphase und A11 der der vollständigen Abkühlung auf Raumtemperatur TR.

Die erfindungsgemäße Erhöhung der Kraft F beginnt in dem Abschnitt A7 in dem das Lot 4 plastisch wird, d. h. beim Erreichen der Schmelztemperatur T2. Wie in Fig. 4 dargestellt wird die Kraft mit Erreichen der horizontalen Linie bei T2 in mehreren Stufen geregelt erhöht. Die Temperatur wird um weitere ca. 30 bis 60 Grad über die Schmelztemperatur T2 angehoben, und gleichzeitig die maximale Kraft F24 am Lötwerkzeug eingeregelt. Vor dem Absinken der Temperatur wird die Kraft in einer oder in mehreren Stufen abgesenkt, was im Bereich nach der Zeit t8 dargestellt ist. Um Spannungen im noch nicht erstarrten Lot auszugleichen wird eine Restkraft F3 bis zum vollständigen Erstarren des Lotes 4 gehalten. Im Anschluß daran wird die Kraft auf Null abgebaut und der Lötkepf wird abgehoben.

Die Temperaturüberhöhung im Abschnitt A9 ist bei Lötvorgängen zum einen üblich und hat den besonderen Zweck den Schmelzvorgang und die Legierungsbildung in kurzer Zeit zu ermöglichen. Die Anzahl der Kraftstufen kann je nach Lötaufgabe frei gewählt und durch Versuche optimiert werden. Die Kraft- und Temperaturkurve läuft geregelt über entsprechende Software und einen Rechner.

Nachdem im Abschnitt A5 durch die Kraft F1 die Lötpartner soweit möglich zusammengefügt wurden wird beginnend mit der Zeit t6 das Abschmelzen der ersten Lotdepots 4 erfolgen. Die stufenweise Erhöhung der aufgetragenen Kraft über F21, F22, F23 bis zur maximalen Kraft F24 ist damit anschaulich verbunden mit einer auf die Anzahl der kraftbeaufschlagten Anschlußbeinchen 3 verteilten und je Anschlußbeinchen 3 annähernd konstanten Kraft. Ein Abgleiten durch ein zu stark belasteten Anschlußbeinchen 3 wird somit unmöglich.

Die Gesamtzeit eines Lötvorganges ist von der Beinchenanzahl des entsprechenden elektronischen Bauteiles abhängig. Diese Beinchenzahl kann im Bereich von mehreren Hundert liegen. Beispielsweise benötigt man für Abschnitt A4 für einen Lötvorgang ca. 1 Sekunde. Für Abschnitt A5 2 bis 4 Sekunden, für Abschnitt A7 mit A9 ca. 3 bis 8 Sekunden und für den Abschnitt A10 und A11 10 bis 20 Sekunden. Auf der Temperaturachse wird zum einen die Raumtemperatur TR mit ca. 20 Grad angesetzt. Die Temperatur T0 liegt bei ca. 50 Grad. Die zur Aktivierung des Flußmittels nötige Temperatur T1 liegt zwischen 100 und 140 Grad. Die Schmelztemperatur T2 liegt bei ca. 190 Grad (183 Grad eutektischer Schmelzpunkt, je nach Lotmaterial variabel). Die maximale Temperatur T3 liegt im Bereich von 220 bis 250 Grad. Die nach dem Abkühlen erreichte Temperatur T4 von ca. 120 Grad löst das Absinken der Restkraft F3 zu Null aus. Im Abschnitt A11 kühlt das Lötwerkzeug auf Raumtemperatur TR ab.

Werden elektronische Bauelemente mit beispielsweise vier Reihen von Anschlußbeinchen 3 aufgelötet, so ist für jede Seite bzw. für jede Reihe eine Bügelelektrode 1 mit eigenem Kraftmeß- bzw. Kraftregelsystem notwendig. Entsprechendes gilt für die Temperaturregelung. Durch den Einsatz einer Temperaturregelung ist zu jeder Zeit die aktuell anliegende Temperatur erkennbar.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Löten von oberflächenmontierbaren elektronischen Bauelementen mit Anschlußbeinchen (3) auf Leiterplatten (2), wobei mindestens eine Lötvorrichtung verwendet wird, die eine durch elektrische Widerstandswärme erhitzbare, starre

und senkrecht zur Reihe der Anschlußbeinchen nach oben und unten bewegbare Bügelelektrode (1) zum Reflow-Löten enthält, über die eine auf die Anschlußbeinchen (3) des Bauelementes wirkende und auf zugehörige Anschlußflecken (5) gerichtete Andruckkraft in Abhängigkeit von der Temperatur am Lötort geregelt aufgebracht wird, mit folgenden Schritten:

- die Bügelelektrode (1) setzt mit ihrer Löt-kante (6) auf einer Reihe von Anschlußbeinchen (3) auf und wird mit einer geringen Kraft (F1) an das am höchsten nach oben ragende Lotdepot (4) auf einem zugehörigen Anschlußflecken (5) angedrückt,
  - die Temperatur am Lötort wird bis auf Schmelztemperatur (T2) erhöht und zeitweilig gehalten,
  - während die Schmelztemperatur (T2) oder eine nachfolgende überhöhte Temperatur (T3) anliegt, wird die durch die Bügelelektrode (1) aufgetragene Kraft in mehreren Stufen oder kontinuierlich bis zu einer maximalen Kraft (F24) erhöht, so daß über den zeitlichen Verlauf der Krafterhöhung eine auf die Anzahl der gleichzeitig niedergedrückten Anschlußbeinchen (3) bezogene gleichbleibende Andruckkraft erzeugt wird, und
  - vor dem Absinken der maximal anliegenden Temperatur wird die maximal aufgetragene Kraft bis auf eine Restkraft (F3) abgesenkt und gehalten, bis der Erstarrungsprozeß abgeschlossen ist, so daß Spannungen im noch nicht erstarrten Lot (4) abgebaut werden können.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Temperatur am Lötort und die von der Bügelelektrode (1) aufgetragene Kraft geregelt sind, so daß geradlinige Temperatur/Zeit- und Kraft/Zeit-Verläufe erzielt werden.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

FIG 1

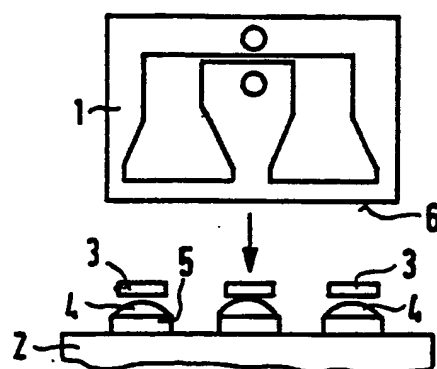
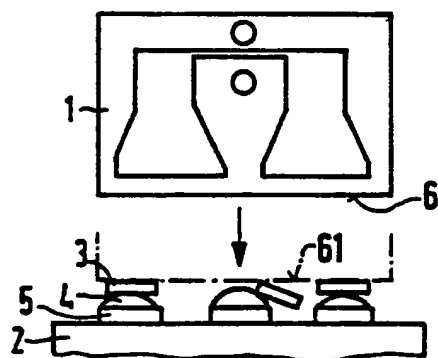


FIG 2



Best Available Copy

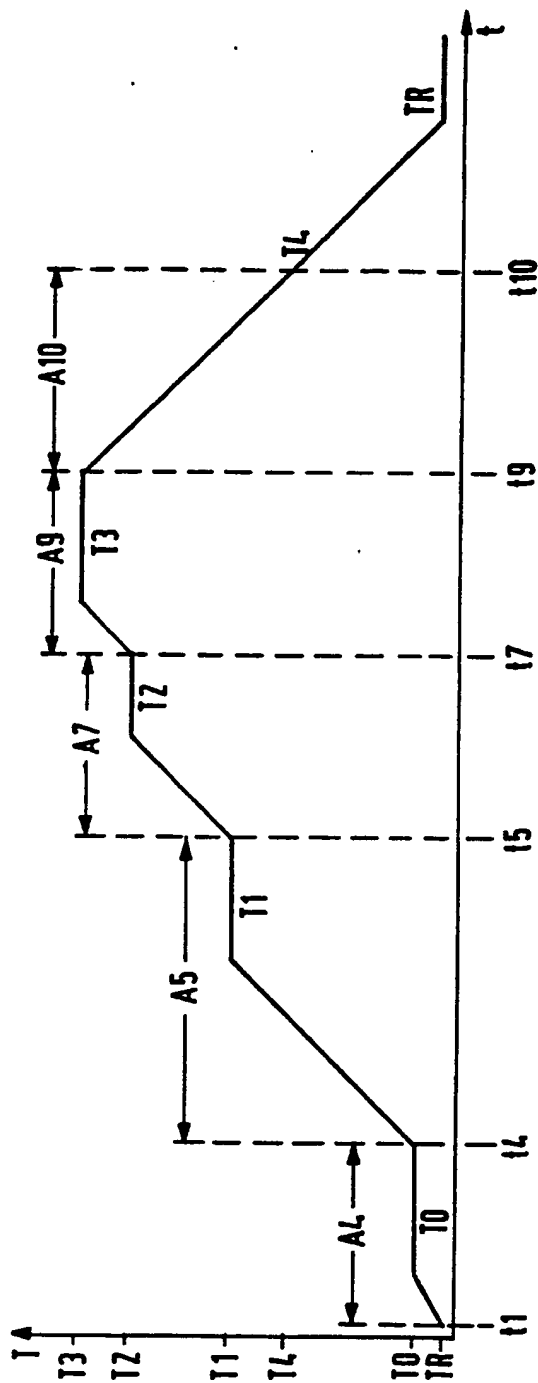


FIG 3

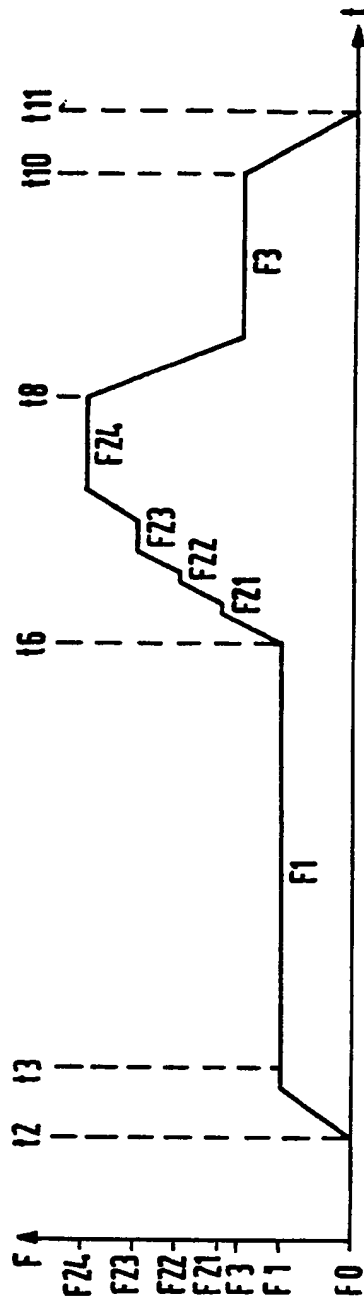


FIG 4

Best Available Copy